

PROJEKTNR. 13770

Hållbar dagvattenhantering med flytande våtmark

Etapp 2, doktorsprojekt

Författare: Maria Greger, Maria Schück, Staffan Hintze

Institutionen för Ekologi, Miljö och Botanik, Stockholms Universitet
NCC Infrastruktur, Trafikverket-Stora projekt

2023-02-22

Förord

Projektet har drivits av NCC i samarbete med Stockholms Universitet, som ett doktorandprojekt vilket påbörjades i mars 2017 och slutfördes i oktober 2022. Doktorand i projektet var agronom Maria Schück, huvudhandledare docent Maria Greger, Stockholms universitet, och biträdande handledare och projektledare har varit adj. professor Staffan Hintze, KTH och NCC infrastruktur/Trafikverket. I projektet har dessutom två masterprojekts utförts vid Stockholms universitet; ett av Mikaela Boltenstern, som undersökt flottkonstruktioner, och ett av Emre Boynukisa, som deltagit i fältundersökningen och är medförfattare till en av artiklarna.

Vi vill särskilt rikta ett stort tack till SBUF och SVU som har finansierat projektet. Stort tack också till vår referensgrupp bestående av Kyösti Tuutti (Skanska / SBUF), Godecke Blecken (LTU), Thomas Gerenstein (Trafikverket), Lotta Berntzon (Huddinge kommun), Lena Kautsky (SU), Lena Furuhovde (Bjerkning), Eva Vall (Stockholm Vatten och Avlopp), Pontus Cronholm (Naturvårdsverket), Nils Rydén (Peab och LTH), Jessica Thorsell (Stockholm Vatten och Avlopp), Magnus Hallberg (Trafikverket), Nina Lans (Naturvårdsverket), Yvonne Bergensund (Skanska), Robert Furen (NCC / LTU) och Jeanette Sveder Lundin (Skanska). Ett särskilt tack till opponent Professor Hans Brix (Universitetet i Åhus) och betygskommittéledamöter Professor Antonia Liess (Halmstad högskola), Professor Henrik Aronsson (Göteborgs Universitet) samt Professor Maria Wiklander (LTU) för värdefulla synpunkter under Marias disputation.

Stockholm 22 februari 2023

Staffan Hintze, Maria Greger, Maria Schück

Sammanfattning

Dagvatten härrör från regnvatten och smält snö och is. Det innehåller föroreningar, bland annat tungmetaller och klorid, från exempelvis fordonstrafik, vägsalt, byggnadsmaterial, industrier. Flytande våtmarker är en relativt ny metod för vattenrening och har givit lovande resultat i samband med rening av övergödda vattendrag.

Detta projekt har bestått av två etapper, där den första fokuserade på identifikation av lämpliga arter och den andra på hur dessa arter klarar att rena i olika förhållande. I etapp 1 fann vi svenska arter, som fungerar bra att rena vatten från klorid (Cl) och tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) i svenskt klimat.

I etapp två var nu den huvudsakliga frågeställningen hur växternas förmåga att rena påverkas av den variation som finns i det kalla nordiska klimatet. Temperaturen varierar under året, och på våren är salthalten i dagvattnet högt eftersom vårt kalla klimat kräver att vägar saltas, vilket kan påverka reningsförmågan hos växter. En fråga som också bör besvaras är hur länge en växt kan ackumulera föroreningar. Kan växter som redan har ackumulerat mycket metaller fortsätta att rena vattnet?

Målet var att ta fram en prototyp för flottor med förbättrad konstruktion samt val av växtarter för ökad rening. Därför undersöktes hur ovan nämnda växters reningsförmåga påverkas av temperatur och salthalt i vattnet samt av metallkoncentrationen i växten. Vidare undersöktes möjliga material för tillverkning av våtmarksflottor som testades i fält.

Undersökningen utfördes på ovan nämnda växtarter i två växthusförsök där effekter av salt, temperatur och metallkoncentration i växten testades på vattenreningskapaciteten. Olika material testades i flottor och deras flytförmåga mättes testades sedan. Den valda flotten av plaströr, hönsnät och kokosmatta med de tre ovan nämnda arterna testades sedan med avseende på tillväxt och metallupptag i två dagvattendammar längs med E4:an i Stockholms län; Lilla Essingen och Silverdal.

Resultaten visar att salt i vattnet minskar växternas rening av Cd och Pb, och låg temperatur ger mindre rening av samtliga undersökta tungmetaller än högre temperaturer. Effekterna varierar i grad beroende på art.

Växterna tar upp föroreningarna kontinuerligt oavsett tidigare ackumulation. Det var tydligt att tungmetallupptaget ökar när omgivande tungmetallhalt i vattnet ökar. Om tungmetallhalten i det omgivande vattnet istället minskar släpps delar av tidigare upptagna tungmetaller ut.

Flottkonstruktionen som togs fram under projektet var byggd av plaströr, hönsnät och kokosfiber och var den som var mest funktionsduglig, hade bra flytkraft, minst miljöpåverkande och mest hållbar. Den testades med de ovan nämnda växtarterna under fältförhållanden under 2,5 månader i dagvattendammar i Silverdal och Lilla Essingen. Det var tydliga skillnader i upptagsmönster mellan platser, arter och metaller. Växterna tog upp mest Cu från vattnet. En högre Zn-halt i vattnet i Lilla Essingen resulterade i ett högre upptag av Zn i växterna på den platsen, jämfört med i dammen i Silverdal. Rörflen utmärkte sig genom högt upptag och hög tillväxt.

Baserat på detta projekt kan vi konstatera att det finns potential att rena förorenat vatten från tungmetaller och klorid med flytande våtmarker i ett svenskt klimat. Men för bra rening är det nödvändigt att välja arter som har hög reningsförmåga för den tilltänkta miljön. Den miljövänliga och stabila våtmarksprototypen som projektet har tagit fram, som innefattar salt- och metallackumulerande växter, är ett mycket bra alternativ och kan sjösättas i dagvattendammar.

Fortsatta studier bör dock undersöka långtidseffektiviteten på reningen och konstruktionens hållbarhet i fält, skördemetodik samt rening av andra typer av föroreningar som organiska föroreningar och närsalter. Resultaten från projektet har stor betydelse för som planerar nya dagvattenreningssystem inom samhällsbyggnad.

Innehållsförteckning

Försättssida	sid 1
Förord	sid 2
Sammanfattning	sid 3
Innehållsförteckning	sid 4
Bakgrund	sid 5
Syftet	sid 5
Försöksmetodik	sid 5
Resultat och diskussion	sid 6
Slutsatser	sid 8
Litteraturförteckning	Sid 9

Bakgrund

Skyfall har blivit allt vanligare i Sverige orsakade av den senaste tidens klimatförändringar. Regn och annan nederbörd som sköljer över hårdgjorda ytor, för från dessa med sig föroreningar som koppar, bly, kadmium och zink, vägsalt, en del oljor och andra organiska föroreningar samt partiklar, kväve och fosfor och blir till så kallat dagvatten. Skyfallen ökar drastiskt mängden förorenat dagvatten och vägdayvatten som måste omhändertas i dagvattenanläggningar, vanligen i slutna rörsystem, som inte klarar de stora vattenmängderna. Det är därför nödvändigt med öppna lösningar som dammar och våtmarker och att planera in sådana i samhällsbyggandet.

På senare tid har en del dagvattenanläggningar i form av konstruerade våtmarker, magasin och dagvattendammar anlagts som omhändertar och renar dagvatten. Principen är att sedimentera partiklar, med vilka en del bundna föroreningar följer, i en sedimentationsbassäng samt att omvandla kvävet mikrobiellt till kvävgas i dammar. Våtmarker och dammarna har stora öppna ytor med ett mindre antal växter i strandkanten för att stimulera den bakteriella aktiviteten samt för att göra anläggningarna landskapsarkitektoniskt mer attraktiva. Målet är att förbättra kvaliteten på vattnet som går ut i recipienten, dvs. sjöar och vattendrag. För att öka kvävereningseffekten har det nyligen introducerats flytande våtmarker som består av en flytenhet tillverkad av spunnen PET-plast och i dessa planterade våtmarksväxter som växer med rötterna ner i vattnet. Rötternas närvaro ökar den bakteriella aktiviteten, och därmed reningen. Att använda plast som flytenhet kan emellertid diskuteras eftersom den kan bidra till det nya stora miljöproblemet med mikroplastpartiklar i havsmiljön. En viktig uppgift för forskningen är därför att identifiera och testa en miljöriktig flytenhet.

Reningen av vattnet från lösta tungmetaller är dålig och av klor i det närmast obefintlig med nuvarande metoder och måste förbättras. Detta går att lösa med hjälp av växter som har högt upptag av dessa ämnen. Denna förmåga måste fungera väl även när dagvattnets vägsalthalter ökar efter vårens snösmältning samt under varierande temperaturer.

I Etapp 1 av detta projekt tog vi fram högackumulerande växtarter med hög biomassaproduktion; slokstarr (*Carex pseudocyperus*) och jättestarr (*Carex riparia*) som minskar halten tungmetaller i vatten och rörflen (*Phalaris arundinacea*) som tar upp stora mängder klorid. I denna rapport redovisas Etapp 2, som fokuserar på växternas reningsförmåga under olika miljöförhållanden.

Syfte

Syfte med Etapp 2 var att ta fram en våtmarksprototyp för rening av tungmetaller och klor. Projektet:

- 1) undersökte växternas förmåga att rena tungmetaller från vatten vid olika temperaturer och salthalter,
- 2) studerade om tungmetaller, som ackumulerats i växterna, hämmar deras förmåga att ta upp mer metaller,
- 3) undersökte möjliga miljövänliga material till flottar utan riven plast och
- 4) testade växternas upptag av metaller på flottar som satts ut i dagvattendammar fält.

Försöksmetodik

Slokstarr (*Carex pseudocyperus*), jättestarr (*Carex riparia*) och rörflen (*Phalaris arundinacea*), som alla har stor biomassatillväxt, användes i försöken. Rörflen är bra på att rena bort klorid och de båda Carex-arterna är bra på bort metaller (Schück & Greger, 2020a, 2020b, 2022).

Temperatur- och salthaltseffekten på reningseffektiviteten undersöktes. De tre nämnda arterna exponerades i fem dagar i växthus för en lösning innehållande $1,2 \mu\text{g Cd L}^{-1}$, $68,5 \mu\text{g Cu L}^{-1}$, $78,4 \mu\text{g Pb L}^{-1}$, $559 \mu\text{g Zn L}^{-1}$ och $0,60$ respektive 600 mg Cl L^{-1} vid olika temperaturer, 5, 15, och 25°C (Schück & Greger, 2023a). Föroreningsmängden baseras på halterna i dagvatten från högtrafikerad väg (Billberger 2011). Växterna analyserades på tungmetaller med atomabsorptions-spektrofotometri (AAS) och på klor med jonkromatografi (HPLC).

Slokstarr användes i en studie som undersökte effekten av metaller som redan ackumulerats i växten påverkade fortsatt rening av metaller från vatten (Schück & Greger, 2023b). Växterna odlades i flytblock i växthus och laddades med metaller genom upptag av 3 olika koncentrationer av en tungmetallblandning

under 5 dagar så att den inre koncentrationen av metaller blev olika stor. Därefter exponerades de laddade växterna för 4 olika koncentrationer av tungmetallblandning i 5 dagar. Växter både från laddning och exponering analyserades på tungmetallsinnehåll.

Fyra olika typer av flottkonstruktioner testades på flytkraft, materialkostnad och miljövänlighet. Dessa konstruktioner utgjordes av brända slantar av gran, bambustammar med lecakulor i stålnät, lecakulor i stålnät samt PVC-plaströr med hönsnät och kokosmatta (Boltenstern 2021). Flottkonstruktionen som värderats som bäst användes därefter i ett pilotförsök i fält (Boynukisa et al. 2023). Flottarna var 0,58*1,07 m och bestod av ramar gjorda av 75 mm avloppsrör av polypropen för flytkraft. Galvaniserade hönsnät fästes under och ovanför ramen för att stödja tre lager kokosfibermatta. I kokosmattan monterades växter från de tre utvalda arterna, sex plantor av vardera. Två flottor lades ut i dagvattendammar; den ena i Silverdal, Solna, och den andra i Lilla Essingen, Stockholm, båda under E4an 7 juli - 29 september 2020. Växternas biomassa och tungmetaller analyserades.

Resultat och diskussion

Temperatur- och saltinverkan på reningseffekten

Varmare temperaturer stimulerar generellt reningseffektiviteten av tungmetaller (Figur 1). Kloridreningen ökar också med värme för *P. arundinacea*, men för *Carex*-arterna endast vid höga salthalter. Störst förändring i reningsgraden fann vi när temperaturen ökade från 5 °C till 15 °C, men ebbade ut mellan 15 °C och 25 °C. Intervallet 5-15 °C inkluderar medeltemperaturen för många vår- och höstmånader i Sverige. Under 5 °C kommer reningskapaciteten sannolikt att minska ytterligare eftersom omsättningen av växter och biofilmer minskar för att sluta vid låga temperaturer.

För att öka avlägsnandet av metaller och klorid vid låga temperaturer skulle vissa åtgärder kunna undersökas som t.ex. att öka retentionstiden, välja köldtoleranta växter, använda mekanisk luftning och bioaugmentering med köldtoleranta mikrober samt tillsätta absorberande filtermaterial till våtmarksflotten (Nsenga Kumwimba 2021). För att stödja adsorptions- och sedimentationsprocesser är det dessutom viktigt att välja växter med stora rotsystem och på så sätt skapa så mycket kontakt mellan växter och vatten som möjligt (Schück och Greger 2020b).

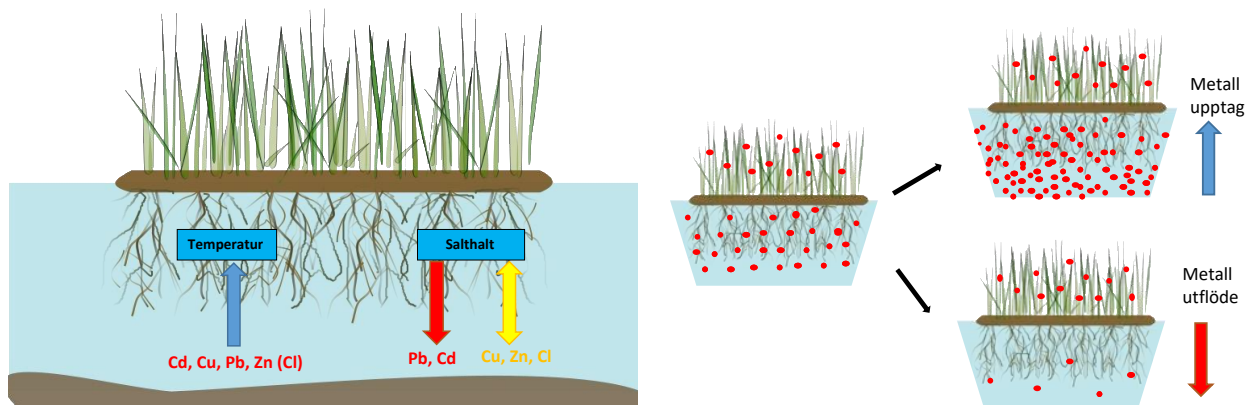
Efter vinterns användning av vägsalt är salthalterna i dagvattnet höga. Ökad salthalt i vattnet minskar upptagseffektiviteten av bly och kadmium generellt, däremot påverkas inte den reningen av klorid, koppar och zink (Figur 1). Den totala avskiljningsförmågan försämras också eftersom Na⁺ från vägsaltet ökar mobiliseringen av Cd och Zn från sedimentet, och därmed ökar tungmetallhalten i vattnet (Greger et al. 1995; Du Laing et al. 2008).

Växtens metallkoncentrations inverkan på reningseffektiviteten

Växternas inre metallkoncentration ökar vid vattenrening och frågan är om detta inverkar på fortsatt reningseffektivitet. Så länge vattnets koncentration är högre än den i växterna så tar växterna upp mer metaller (Figur 1). Om vattnet istället är har lägre halt än den i växterna finns tendenser att växterna släpper ifrån sig metaller för att utjämna metallkoncentrationerna och uppnå jämvikt (Figur 1). Metallkoncentrationen i vattnet påverkar därför växternas metallupptag positivt, vilket stämmer överens med andra studier (Deng et al. 2004).

Mekanismerna bakom detta är in- och utflöde av metalljoner mellan celler, cellvägg och det omgivande vattnet (White 2011). Men det finns alltid metalljoner som binder hårt till cellväggar och stannar därför kvar i växtens vävnad (Küpper och Andresen 2016).

Nyquist och Greger (2007) använde liknande koncentrationer och exponeringstid, men fann inget läckage av Cu och Zn, endast av Cd, för undervattensväxter som vattenpest (*Elodea canadensis*). I det fallet är det hela växten som tar upp respektive läcker metaller. Växterna kommer att tillväxa under en lång exponering, vilket kan motverka växtvävnadsmättnad genom den biologiska utspädningsseffekten det för med sig när de växer och bildar ny vävnad och därmed ökas växternas upptag och lagringskapacitet. Detta understryker vikten av att välja arter anpassade till platsens förutsättningar.



Figur 1. Schematiska figurer på hur temperatur och salthalt (vänster) och tungmetallhalter (höger) påverkar upptaget av metaller. Blå pil, ökat upptag; röd pil, minskat upptag; gul pil opåverkat upptag.

Flottkonstruktioner

Alla flottkonstruktionerna hade tillräcklig flytkraft. Enbart granflottens flytförmåga minskade något med tiden. Plaströrsflotten hade den bästa flytförmågan (Figur 2). Tillverkningskostnaden är emellertid högst för den, men den var samtidigt den enklaste att bygga och troligtvis den som håller längst. Den billigaste, men svåraste att sätta samman var granflotten. Bambuflotten kunde flyta bra utan bamburören, dvs. enbart med hönsnät och lecakulor, och då blev den också billigare att tillverka. Ingen av dessa flottar ger ifrån sig mikroplaster.

Enligt Headley och Tanner (2006) har alla våtmarksväxter förmågan att bli självflytande med tiden. Den stödjande flottkonstruktionen är därför endast nödvändig i början. Om ett självflytsystem är målet för den flytande våtmarksetablering är granflotten den perfekta konstruktionen eftersom den ger stör enbart första året och försämras med tiden.

Bambu, som dock inte är av inhemsk produktion, är ett av världens mest använda material tack vare sin lätthet och styrka (Farrelly, 1984). Bambu har historiskt använts för flottkonstruktioner och även andra typer av produkter med vattenkontakt. Materialet är dock inte särskilt beständig mot vatten och bryts ned snabbt om det inte behandlas. Obehandlade bamburör har en hållbarhet på ett år i vatten (Wahab et al. 2009).

Leca (Light Expanded Clay Aggregates) är gjort av expanderad lera, tillverkas i Sverige, är billigt, miljövänligt och har bra flytförmåga (Leca, 2020). De många fördelarna gör Leca till ett bra fyllnadsmaterial att använda i en flytande våtmarksflotte.

Pilotfältförsöket

I denna fältstudie testades hur de utvalda växtarterna och vald flottkonstruktion (Figur 2). På rötterna bildas biofilmer som tillsammans med rötterna tar bort föroreningar genom adsorption, absorption och biotransformation (Headley och Tanner 2006; Jasu och Ray 2021). Föroreningsgraden varierade i de två dagvattendammarna. På Lilla Essingen innehöll vattnet i dammen oljiga föroreningar som fastnade i rötternas biofilm. Föroreningen var en trolig orsak till att rötterna hos växterna växte något sämre på Lilla Essingen än i Silverdal. I övrigt växte alla växtarter bra i de båda vattnen.

Växterna tillväxte bra utan några symptom på näringsbrist eller toxisk påverkan. Välmående plantor har ett bra metallupptag. Metallupptaget var i de flesta fallen störst från vattnet på Lilla Essingen, även då halterna i vattnet inte var signifikant skilt från det i Silverdal. Rörflen, *Phalaris arundinacea*, var den växtart där skillnaden i upptag mellan platserna var störst och denna art hade i de allra flesta fallen störst upptag av metaller.

Metallmängden i *P. arundinacea* varierar under säsongen enligt Březinová och Vymazal (2015). Rotmassans storlek kan variera under året och denna påverkar bl.a. vattnets uppehållstid (Marchand et al. 2010). Denna effekt ökar uppehållstiden för metallerna i vattnet, vilket ökar sedimentationen och ger mer tid för interaktion mellan växter och metaller. Fina rotnätverk har större ytaareor som kan absorbera och adsorbera fler metaller (Li et al. 2015). Stor rotmassa är därför viktig i sammanhanget (Schück och Greger 2020b).



Figur 2. Våtmarksprototyp. Foto: Maria Schück

Slutsatser

Undersökningen visar att externa faktorer påverkar växternas reningsförmåga. Temperatur, salthalt och metallkoncentration påverkar förmågan att avlägsna metaller och klorid. Omfattningen skiljer sig dock åt mellan arterna och det är därför viktigt att välja arter som har högt avlägsnande i den avsedda miljön för att maximera effektiviteten hos de flytande våtmarkerna.

Vi rekommenderar att använda en blandning av arter för att ge en stabil behandlingseffekt under varierande förhållanden eftersom olika växter har olika upptagsstyrka under olika förhållanden. De trivs också i olika miljöer. Optimalt är då samverkan mellan både salttoleranta arter med lägre ackumulering av metaller och högackumulerande arter men med lägre kloridtolerans. Det är viktigt att använda växter som fungerar i den givna miljön och inte bara titta på temperatur och salthalt, utan även på andra faktorer. En bra fråga att ställa sig är om växten naturligt växer i den miljön som är aktuell att rena.

Projektet visar att det går att bygga flytande, hållbara, miljövänliga våtmarksflottar som inte frigör mikroplaster. Flottar med bambustammar eller plaströr har större stabilitet än de som består av spunnen plast som används idag.

Högre föroreningsbelastning gör att ackumuleringen av föroreningar i växter ökar. De flytande våtmarkerna skulle därför vara mest användbara i vatten med hög föroreningsbelastning, såsom dagvattendammar med vatten från tungt trafikerade vägar.

En viktig aspekt när man bygger dessa våtmarker är att det ska vara möjligt att komma åt dem med maskiner för underhåll. Detta inkluderar skörd, ersättning av döda växter och muddring av sediment.

Eftersom borttagningseffektiviteten sannolikt ändras mellan årstider på grund av skillnader i temperatur, salthalt och föroreningsbelastning kan de flytande våtmarkerna kombineras med andra behandlingsmetoder om det är viktigt att uppnå en viss reningskapacitet.

Litteraturförteckning

- Billberger, M. (2011) Road runoff - Advice and recommendations for choosing environmental measures (in Swedish). Borlänge, Sweden.
- Boltenstern, M. (2021). Improvement of floating wetlands for PFAS phytoremediation. PFAS toxicity-test with *Carex rostrata* and floating wetland raft designs. *Examensarbete, Stockholms Universitet*
- Boynukisa, E. (2022) Metal accumulation properties of three wetland plants growing in floating treatment wetlands. *Examensarbete, Stockholms Universitet*
- Boynukisa, E., Schück M. & Greger M (2023). Differences in metal accumulation from stormwater by three plant species growing in floating treatment wetlands in a cold climate. *Manuskript inskickat till Water Air and Soil Pollution*
- Březinová T, Vymazal J (2015) Evaluation of heavy metals seasonal accumulation in *Phalaris arundinacea* in a constructed treatment wetland. *Ecological Engineering* 79:94–99.
- Deng H, Ye ZH, Wong MH (2004) Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental Pollution* 132:29–40.
- Du Laing G, De Vos R, Vandecasteele B, et al (2008) Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. *Estuar Coast Shelf Sci* 77:589–602.
- Farrelly, D. (1984) *The book of Bamboo*. Thames and Hudson, Great Britain, London.
- Fritioff Å, Kautsky L, Greger M (2005) Influence of temperature and salinity on heavy metal uptake by submersed plants. *Environ Pollut* 133:265–274
- Greger M, Kautsky L, Sandberg T (1995) A tentative model of Cd uptake in *Potamogeton pectinatus* in relation to salinity. *Environ Exp Bot* 35:215–225.
- Headley, T.R., Tanner, C.C., (2006) *Application of Floating Wetlands for Enhanced Stormwater Treatment: A Review* 101.
- Jasu A, Ray RR (2021) Biofilm mediated strategies to mitigate heavy metal pollution: A critical review in metal bioremediation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 37:102183.
- Küpper H, Andresen E (2016) Mechanisms of metal toxicity in plants. *Metallomics* 8:269–285.
- Leca, (2020) *Materialegenskaper | Leca Sverige* [WWW Document]. URL <https://www.leca.se/teknisk-info/materialegenskaper/egenskaper-en-13055-2/> (accessed 12.15.20).
- Li J, Yu H, Luan Y (2015) Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12:14958–14973.
- Marchand L, Mench M, Jacob DL, Otte ML (2010) Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: A review. *Environmental Pollution* 158:3447–3461.
- Nsenga Kumwimba M, Batool A, Li X (2021) How to enhance the purification performance of traditional floating treatment wetlands (FTWs) at low temperatures: Strengthening strategies. *Sci Total Environ* 766:142608.
- Nyquist J, Greger M (2007) Uptake of Zn, Cu, and Cd in metal loaded *Elodea canadensis*. *Environ Exp Bot* 60:219–226.
- Schück, M. 2022. Floating treatment wetlands for stormwater management. Plant species selection and influence of external factors for heavy metal and chloride removal in a cold climate. *Doktorsavhandling, Stockholms universitet*
- Schück. M. & Greger, M. (2020a) Screening the capacity of 34 wetland plant species to remove heavy metals from water. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17: 4623
- Schück. M. & Greger, M. (2020b) Plant traits related to the heavy metal removal capacities of wetland plants. *International Journal of Phytoremediation* 22: 427-435
- Schück. M. & Greger, M. (2022) Chloride removal capacity and salinity tolerance in wetland plants. *Journal of Environmental Management*, 308: 114553
- Schück. M. & Greger, M. (2023a) Influence of salinity and temperature on removal of heavy metals and chloride from water by wetland plants. *Manuskript inskickat till Environmental Sciences and Pollution Research*
- Schück. M. & Greger, M. (2023b) Effect of tissue concentration on accumulation and distribution of Cd, Cu, Pb, and Zn in *Carex pseudocyperus* L. *Manuskript inskickat till International Journal of Phytoremediation*
- Wahab, R., Sulaiman, O., Aminuddin, M., W.Samsi, H., Khalid, I., (2009) Bamboo as an Eco-friendly Material for Use in Aquaculture Industry in Malaysia. *J. Sustain. Dev.* 1.
- White PJ. (2011) *Ion Uptake Mechanisms of Individual Cells and Roots: Short-distance Transport*. Elsevier Ltd